Aula 5

SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

META

Identificar os principais sistemas de classificação das plantas, seus pincípios e organição dos maiores grupos das angiospermas.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:
ter conhecimento sobre os principais sistemas de classificação estabelecidos ao longo da história, bem como a organização dos grupos vegetais mais importantes.

PRÉ-REQUISITOS

O aluno deverá possuir conhecimento de taxonomia de angiospermas e evolução do grupo, além das principais mudanças de acordo com o sistema de classificação utilizado.

(Fonte: http://www.acpplasticos.com.br)

INTRODUÇÃO

As plantas estão por toda parte; são as grandes formadoras de paisagem. A existência humana depende de algumas espécies vegetais e a domesticação delas foi essencial para o estabelecimento das civilizações, influenciando diretamente a maneira do homem viver e de transformar seu universo. Não é por acaso, então, que o mundo vegetal atrai tanto a atenção do ser humano. Apesar da enorme diversidade vegetal nativa do Brasil, encontramos ainda uma literatura muito parca em sistemática vegetal no país.

Figura 1 – Algumas evidências da diversidade de organismos.

DIVERSIDADE VEGETAL

No reino vegetal há cerca. de 400.000 espécies. Como lidar com essa diversidade toda? Existe uma grande necessidade de organização!!!!

A biodiversidade hoje no Brasil – uma das últimas fronteiras biológicas do mundo – constitui importante fonte de riqueza. No entanto, seu impacto para a garantia do bem-estar e da saúde do povo somente será atingido por meio do conhecimento das interações recíprocas dos organismos. Essa meta exige o discernimento da linguagem da natureza a fim de que se possa entender, participar e interferir no seu funcionamento.

Em face da imensa diversidade do mundo natural, o homem instintivamente classifica, com o intuito principal de compreender o mundo que o cerca. Já na remota antiguidade, o homem aprendeu a reconhecer os tipos de plantas que eram úteis como alimento, as que poderiam ser úteis como combustível, as medicinais, as venenosas etc.

Figura 2 – Exemplos de diversidade vegetal.

Algumas perguntas serão respondidas durante esta aula, tais como: Por que nós classificamos os organismos? Para que classificar? Como classificar?

O QUE É SISTEMÁTICA VEGETAL?

A Sistemática é a área do conhecimento biológico que se ocupa do estudo das relações evolutivas dos diferentes grupos de seres vivos ao longo do tempo e do agrupamento e classificação dos seres vivos. Tem como objetivo a criação de sistemas de classificação que não se limitem a agrupar

os seres vivos atuais, mas que reflitam a evolução sofrida por esses grupos ao longo do tempo. O ramo da Sistemática que se ocupa da classificação dos seres vivos e da nomenclatura designa-se por Taxonomia. A Taxonomia é a identificação, a atribuição de nomes e a classificação das espécies.

A Sistemática é o estudo da diversidade biológica e sua história evolutiva. É a ciência que trata da diversidade dos organismos, descobrindo, descrevendo e interpretando a diversidade biológica, bem como da síntese de todas essas informações expressa em um sistema de classificação que expresse as relações filogenéticas entre esses organismos. É uma ciência de síntese com caráter fortemente multidisciplinar

As regras que regem a aplicação de nomes científicos de plantas estão dispostas no Código Internacional de Nomenclatura Botânica.

COMO NÓS CLASSIFICAMOS ORGANISMOS?

Numa classificação os organismos são agrupados por terem algo em comum e de acordo com algum critério. Toda classificação é organizada em níveis, geralmente de abrangência crescente. Biologicamente, a unidade base de uma classificação é a ESPÉCIE. Espécies são delineadas por um conjunto de características. Essas características são, portanto, evidências de sua identidade. São sobre essas evidências taxonômicas que a Sistemática Vegetal se fundamenta. Esses agrupamentos visam à sistematização do conhecimento e resultam em sistemas de classificação.

CATEGORIA	TÁXON
Reino	Plantae
Filo	Antophyta
Classe	Monocotyledonae
Ordem	Commelinales
Família	Poaceae
Gênero	*Zea*
Espécie	*Zea mays*

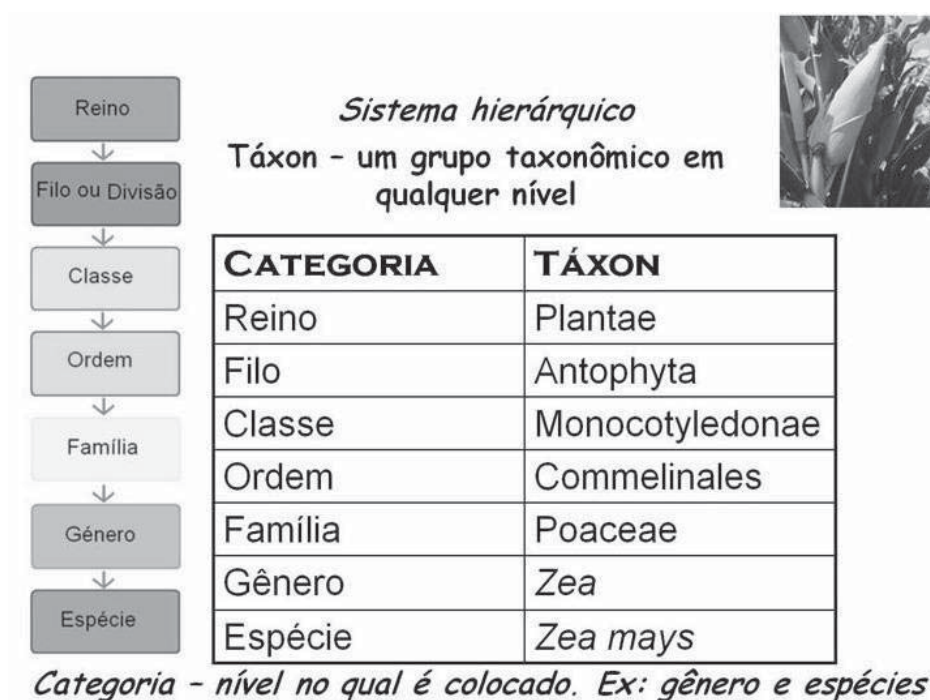



Figura 3 – Exemplo de categorias hierárquicas.

SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

Um sistema de classificação pode ser construído com diferentes objetivos. Cada um deles terá um princípio filosófico e normativo distinto, e irá empregar distintos conjuntos de caracteres.

Classificação, em Biologia tem a ver com identificação, denominação e agrupamento de organismos em um sistema estabelecido. As numerosas formas de vida existentes precisam ser nomeadas e organizadas, de modo que os biólogos de todo o mundo tenham certeza de que conhecem o organismo exato que é seu objetivo de estudo. A definição dos grupos de organismos baseia-se na seleção de determinadas características importantes, que sejam traços compartilhados de modo que os membros de cada grupo sejam semelhantes entre si, e diferentes dos de outros grupos.

Os métodos atuais de classificação reúnem também os grupos em categorias, de modo que estas reflitam os processos evolutivos que existem por trás das semelhanças e diferenças entre os organismos. Tais categorias formam uma hierarquia, na qual os diferentes níveis representam os deferentes graus de relação evolutiva.

A Hierarquia se estende, em sentido ascendente, a partir de milhões de espécies, cada uma constituída por organismos individuais estreitamente relacionados, até alguns poucos reinos, cada um reunindo um grande número de organismos, entre os quais muitas vezes só existe uma relação distante.

Para garantir a precisão dos métodos de classificação, os biólogos têm estudado e comparado a anatomia, a fisiologia, a genética, o comportamento, a ecologia e os fósseis do maior número possível de organismos. Todos os ramos da Biologia contribuem para esses estudos, mas as especialidades mais diretamente relacionadas com a classificação são a taxonomia e a sistemática.

Embora as duas disciplinas se superponham, a taxonomia está mais centrada na nomenclatura (denominação) e nos estabelecimento dos sistemas hierarquizados. Já a sistemática estuda as relações evolutivas ainda não estabelecidas.

NIVEIS HIERÁRQUICOS

Os biólogos classificam os organismos individuais no nível básico de espécie. Uma espécie é formada por organismos que compartilham muitas características importantes. Além disso, nos organismos com reprodução sexuada as espécies são formadas por populações que não podem ter descendentes férteis com membros de nenhuma outra espécie.

As espécies que estão claramente relacionadas por compartilhar características importantes são agrupadas em um gênero e cada um recebe dois nomes (nomenclatura binominal). A primeira palavra corresponde ao nome do gênero e a segunda é um adjetivo, geralmente descritivo ou geográfico,

ou, ainda, relativo ao nome de uma pessoa. Essa forma de denominação foi estabelecida pelo naturalista sueco Lineu, fundador da taxonomia moderna. Ele utilizou nomes em latim porque era nessa língua que eruditos do seu tempo se comunicavam. Lineu atribuiu aos seres humanos o gênero Homo (homem) e a espécie humana deu o nome de Homo sapiens (homem sábio).

Para construir a classificação hierárquica, agrupam-se um ou mais gêneros em famílias, as famílias em ordens, as ordens em classes, as classes em filos e os filos em reinos. Atualmente, dentro da divisão principal dos seres vivos, são reconhecidos cinco reinos. Os grupos de organismos incluídos nessas categorias, em qualquer nível de hierarquia, recebem o nome de táxon, e cada táxon recebe uma definição que abrange as características mais importantes compartilhada por todos os seus membros.

Para permitir uma subdivisão maior, podem-se acrescentar os prefixos sub- e super- a qualquer categoria.

Em qualquer nível, um táxon indica uma base evolutiva comum, ou seja, todos os seus membros se desenvolveram a partir de um ancestral comum.

SISTEMA DOS CINCO REINOS

A primeira grande classificação do seres vivos reconhecia dois reinos (Vegetal e Animal), pelo menos desde que Aristóteles estabeleceu a primeira taxonomia no século IV a. C. As plantas com raízes são tão diferentes em sua forma de vida e em sua linha evolutiva dos animais, que se movimentam e ingerem alimentos, que o conceito de dois reinos permaneceu em vigor durante muito tempo.

Foi no século XIX, quando já estava mais do que evidente que os organismos unicelulares não se enquadravam em nenhuma das duas categorias , que se propôs a conceituação de um terceiro reino para abrigá-los, o reino Protista. Muito tempo depois de se descobrir que a fotossíntese é a forma básica de nutrição das plantas, os fungos, que se alimentam por absorção, ainda eram classificados no reino vegetal por causa de seu aparente modo de crescimento mediante as raízes.

Atualmente, devido ao grande desenvolvimento das técnicas de estudo da célula, está claro que a divisão principal dos seres vivos não é entre vegetais e animais, mas entre organismos cujas células carecem de membrana nuclear e organismos cujas células têm essa membrana. Os primeiros são chamados de procariotos e os segundos, eucariotos.

As células procarióticas também carecem de organelas, mitocôndrias, cloroplastos, flagelos especializados e outras estruturas especiais que aparecem em células eucarióticas. As bactérias e as algas verde-azuladas são células procarióticas, e a taxonomia moderna as agrupou num quarto reino, o Monera, também conhecido como reino Procariota.

As células eucarióticas provavelmente derivaram de associações sim-

bióticas de células procarióticas. O reino Protista é formado por diversos eucariotos unicelulares que vivem isolados ou formam colônias características. Acredita-se que cada um dos reinos multicelulares se desenvolveu a partir de ancestrais protistas.

O reino Animal compreende os organismos multicelulares, que têm suas células organizadas em diferentes tecidos, são móveis ou têm mobilidade parcial graças a tecidos contráteis, e digerem alimentos em seu interior. O reino Vegetal ou das Plantas é formado por organismos multicelulares que, em geral, têm paredes celulares e contêm cloroplastos, nos quais produzem seu próprio alimento mediante a fotossíntese.

O reino dos Fungos, o quinto reino, inclui os organismos multicelulares ou multinucleados (isto é, com mais de um núcleo celular), que digerem os alimentos externamente e os absorvem através de superfícies protoplasmáticas tubulares denominadas hifas (as quais formam seus corpos).

A classificação dos seres vivos em cinco reinos baseia-se em três níveis de organização: o primitivo nível procariota; o eucariota unicelular e o eucariota multicelular. Nesse último nível, as três linhas evolutivas principais se baseiam no tipo de nutrição e se expressam nos diferentes tipos de organização tissular característicos de animais, vegetais e fungos.

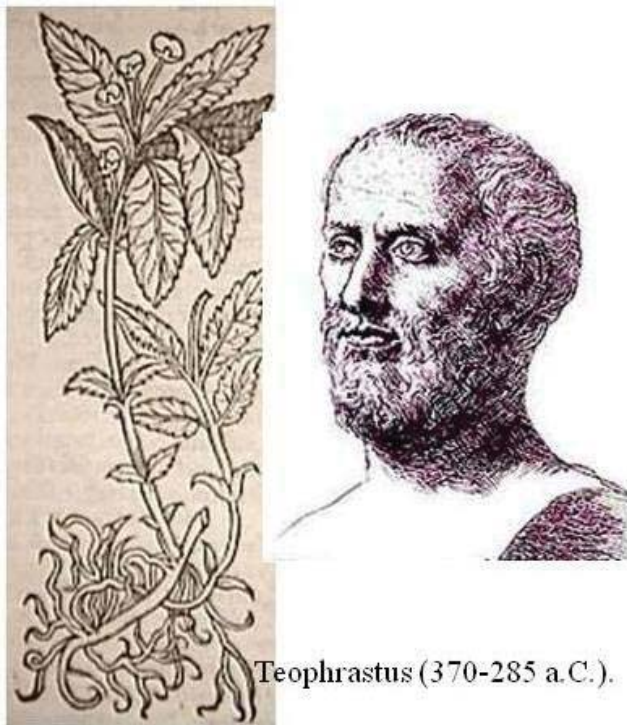
Em relação ao Reino Vegetal veremos que no curso da História houve vários sistemas de classificação e que os primeiros foram evidentemente os menos elaborados. Neste capítulo iremos fazer uma "viagem" no tempo e aprender um pouco sobre a história da botânica e dos diferentes sistemas de classificação criados e adotados anteriormente além dos que estão em vigência atualmente para classificar as plantas. São abordagens muito distintas que variam da morfologia até chegar naqueles que utilizam moléculas....

Desde os primórdios da ciência o homem aprendeu a classificar com o intuito de compreender o mundo que nos cerca. Isto tem uma utilidade prática. Precisamos descobrir quais plantas eram comestíveis, venenosas, forrageiras etc.

Classificar é uma ação inerente ao comportamento humano e tem sentido básico de organizar.

Ao longo da história, surgiram numerosos sistemas de classificação, os quais costumam ser agrupados em quatro categorias: hábito, artificiais, naturais e filogenéticos.

Figura 4 – Exemplo de plantas arbóreas, herbáceas e trepadeiras.

Figura 5 – Theophrastus, o Pai da Botânica.

Baseadas no hábito (árvores, ervas, trepadeiras). Os primeiros foram, evidentemente, os menos elaborados, embora seus autores acreditassem que eles refletiam afinidades naturais. Nestes sistemas, árvores, ervas, trepadeiras, etc., consistiam os grupos principais de plantas. Teophrastus (370-285 a.C.) é o nome mais célebre deste período, sendo considerado o Pai da Botânica.

Das 227 obras que chegaram aos nossos dias, duas delas são sobre Botânica: - A História Natural das Plantas (De Historia Plantarum), composta por 9 livros; Sobre as Razões do Crescimento das Plantas (De causis plantarum) composta por 6 livros. Os livros eram muito gerais, as espécies eram referidas apenas ocasionalmente e em alguns dos casos nem se percebia de que espécie se tratava. Foram descritas entre 500-550 espécies. Foi divulgado o conceito de morfologia, classificação e história. Avançado para o seu tempo, Theophrastus introduziu a prática da aclimatação de plantas, introduziu novos termos técnicos, distinguiu diferentes formas de reprodução e de inflorescências, e estudou a germinação de sementes de várias espécies.

DEPOIS VIERAM OS ROMANOS....

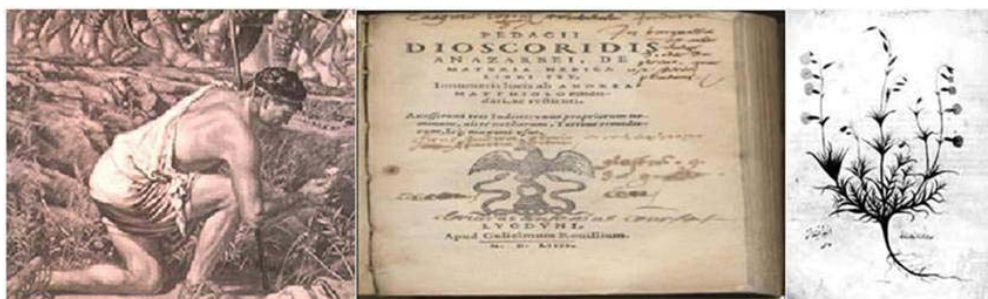



Figura 6 – Dioscórides e algumas de suas obras.

Dioscórides foi um físico grego, que se tornou cirurgião militar de Nero, o Imperador Romano. O seu cargo militar permitiu-lhe fazer grandes viagens e assim estudar uma grande variedade de plantas.

Na obra De Materia Medica, são referidas as propriedades medicinais de mais de 600 plantas com algumas descrições botânicas, mas sem o caráter científico das obras de Theophrastus. Descreveu raízes, caules, folhas e por vezes flores.

Após o trabalho de Dióscorides, com plantas de uso medicinal que vigorou até o sec. XVI, a botânica e a medicina tornaram-se indissociáveis.

Os gregos foram mais tarde sucedidos por herbalistas e botânicos que mantiveram este período da história da classificação até a metade do século XVIII.

OS HERBALISTAS

Eram médicos que deram grande contribuição ao estudo das plantas. Andrea Cesalpino (1519-1603) era um médico italiano. É um exemplo de um

importante herbalista que possui alguns nomes de plantas em sua homenagem, por exemplo: Caesalpinia echinata (pau-brasil). Nesta época surgiram os primórdios da farmacognosia e as primeiras contribuições ilustradas.

Figura 7 – Exemplos de alguns herbalistas.

Figura 8 – Andrea Caesalpino. Caesalpinia echinata (pau-brasil).

Artificiais (séc. XVIII): essencialmente práticos, com poucos caracteres. Não levam em conta afinidades entre os organismos. Ex.: sistema sexual de Lineu (1707-1778). Classe 21: Monoecia: Typha (taboa-monocot.), Quercus (carvalhos, eudicot.) e Thuja (tuia- gimnosperma)

Naturais (séc. XVIII e XIX): buscavam afinidades "naturais" entre os grupos, segundo um plano divino. Utilizam um número maior de caracteres. Lamarck, Bentham & Hooker, De Candolle, Jussieu. Dura até o advento do "Darwinismo"

Filogenéticos (séc. XIX até hoje): baseados na FILOGENIA dos grupos: histórico de relações de táxons (famílias, gêneros, espécies, populações, etc.) através de ancestralidade e descendência (seguindo Darwin).

Assim como aqueles antigos sistemas, os sistemas artificiais não encontram hoje qualquer aplicação. Um sistema artificial tem como único objetivo

ser um meio conveniente de situar uma planta dentro de uma classificação e contribuir para a sua identificação. Não tem qualquer preocupação de mostrar relações de afinidades. O mais conhecido é o de Linné, (Carl F. von Linné, 1707-1778), publicado na obra "Species Plantarum" (1753), que ficou conhecido como "sistema sexual", por ter sido o primeiro a dar grade ênfase aos caracteres florais. Em seu sistema, Lineu reconheceu 24 classes, a última delas formada por plantas sem flores (Cryptogamia). Para as classes com flores, os critérios utilizados foram principalmente o número de estames, soldadura e comprimento dos filetes, e o sexo das plantas, segundo o tipo de flores que ela apresenta (Monoecia, Dioecia, Polygamia). Como se percebe, um sistema artificial utiliza-se de poucos caracteres para construir os grupos. O resultado é que nestes irão figurar plantas sem um real relacionamento de afinidades. Por exemplo, na Classe 21 de Linné (Monoecia), encontram-se Thypha (uma Monocotiledônea), Quercus (uma dicotiledônea) e Thuja (uma Gimnosperma).

Figura 9 – Lineu: sua obra e exemplos de seu sistema.

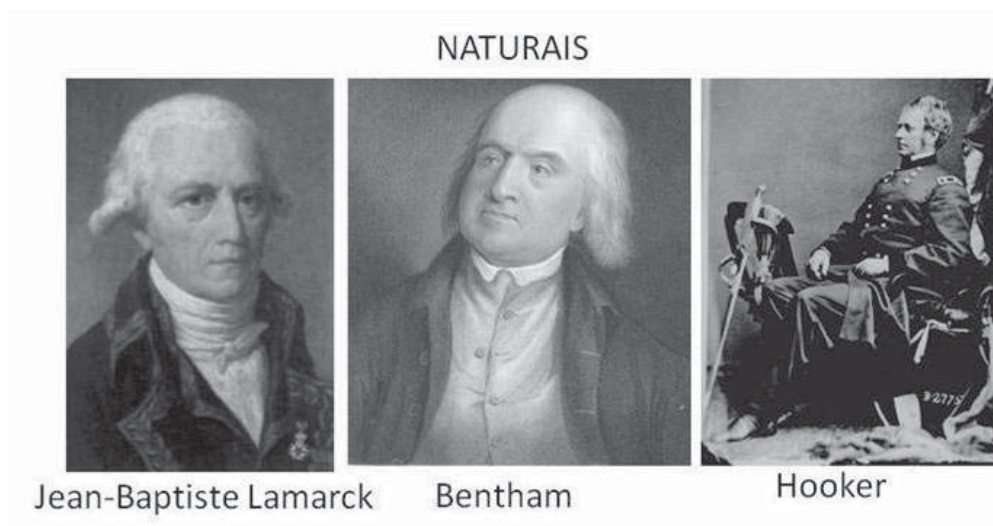



Figura 10 – Exemplos de naturalistas.

Os sistemas filogenéticos procuram usar toda a informação disponível no momento a respeito dos táxomas envolvidos, procurando relacioná-los segundo uma afinidade baseada em ancestralidade e descendência.

SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÕES PRÁTICOS

As primeiras classificações feitas pelo homem tinham um caráter prático, que se ajustavam às necessidades específicas de quem as utilizava. Ainda hoje em dia distinguimos os animais domésticos dos animais selvagens, por exemplo. Estes sistemas são designados de sistemas de classificação práticos e, por vezes, carecem de base científica, sendo meros instrumentos de sistematização utilitária.

A sistemática sofreu uma guinada nas últimas décadas, estimulando uma série de novidades metodológicas refletidas em mudanças substanciais na taxonomia dos seres vivos. A classificação das plantas vem se modificando rapidamente, e as poucas referências nacionais estão bastante desatualizadas. Aqui, é apresentada uma caracterização da diversidade de plantas terrestres (ou embriófitas), com ênfase nos grupos mais representativos para o Brasil, procurando incorporar os resultados filogenéticos mais influentes na classificação vegetal.

NATUREZA DAS CLASSIFICAÇÕES

Os organismos estão organizados em um sistema hierárquico de táxons. Cada táxon equivale a uma categoria taxonômica (espécie, gênero, família. etc.) e recebe um nome científico. O nome de um táxon deve ser claro, único e universal, de acordo com os princípios de nomenclatura. A

combinação de um sistema hierárquico de táxons, a classificação, com o sistema de nomenclatura é chamada de taxonomia. Um grupo, entretanto, pode ser organizado de diversas maneiras, de acordo com os princípios filosóficos, a metodologia ou os objetivos do autor. A sistemática resulta, então, da união entre a taxonomia e as premissas que estão por traz de uma determinada classificação.

Uma classificação artificial é aquela baseada em uma característica selecionada arbitrariamente. Em 1735, por exemplo, Lineu baseava boa parte de sua classificação no número de estames por flor, estabelecendo 24 classes, naquele que ficou conhecido como Sistema Sexual de Classificação. Em contraposição, a classificação natural, inaugurada na botânica por Jussieu (Stevens 1997), agrupa os organismos de acordo com a semelhança geral. Um arranjo é tanto mais natural quanto maior o número de atributos correlacionados ele inclui (Giulmour 1937) e, portanto, maior é o seu poder de predição. Diante de um mosaico de características, uma classificação natural acaba estruturada em afinidades concebidas empiricamente e sustentada por um conjunto de caracteres selecionados conforme a experiência do autor.

Até a década de 1980, a Botânica foi dominada por um sistema evolucionista de classificação, baseado no grau de similaridades. Nem mesmo a difusão de teorias evolutivas no final do século XIX levou a mudanças significativas na classificação dos seres vivos. A evolução foi incorporada na sistemática como explicação para classificações naturais pré-existentes. As classificações naturais levavam em consideração a filogenia e a anagênese, aceitavam grupos parafiléticos e incluíam grupo definidos apenas por autapomorfias. Foi apenas após o estabelecimento da sistemática filogenética (Hennig 1965), que os táxons passaram a ser definidos por compartilharem características derivadas herdadas de um ancestral comum, as sinapomorfias. O princípio primordial da sistemática passou a ser a ancestralidade, e as classificações passaram a buscar o reconhecimento exclusivo de grupos monofiléticos (ou clados, daí o nome cladística para essa escola da sistemática).

Sistemas de classificação filogenéticos ou cladístico – Nesse sistema o agrupamento dos organismos é de acordo com o grau de parentesco entre eles. Os cladogramas (ou árvores filogenéticas) demonstram as relações hipotéticas entre os organismos, levando em consideração a sua história evolutiva dos seres.

As semelhanças entre os organismos são consequências da existência de um ancestral comum, a partir do qual os grupos divergiram ao longo do tempo. O grau de semelhança entre eles está relacionado com o tempo em que ocorreu a divergência.

Os resultados de uma análise cladística são geralmente expressos na forma de cladogramas, ou seja, diagramas ramificados que expressam relações de parentesco entre os táxons incluídos na análise (chamados de terminais ou táxons terminais). Consiste, graficamente, de uma série de

linhas (ramos) que conectam esses terminais. O encontro de ramos define um nó, que é considerado um ancestral hipotético do grupo definido por aquele nó. É importante ressaltar que cladogramas representam hipóteses sobre a filogenia de um grupo, ou seja, não é sua filogenia real e sua obtenção depende do método usado na análise.

Na botânica, a parcimônia foi o principal critério utilizado em análises cladísticas até meados de 1990. Segundo o critério de parcimônia, diante de duas ou mais alternativas equivalentes (em filogenia, cladogramas com topologias distintas), a mais simples é a que melhor explicaria os dados. Em filogenia, uma alternativa mais parcimoniosa é aquela que minimiza o número de hipóteses independentes (i.e. homoplasias: convergências, paralelismos ou reversões) para explicar a distribuição das transformações de estados de caracteres. A parcimônia é, portanto, um princípio lógico, não evolutivo (Platnick & Gaffney 1977, Farris 1995, Kluge 1997).

É comum que análises que tenham como critério a parcimônia encontrem mais de um cladograma igualmente parcimoniosos. Uma forma útil de expressar essas diferentes hipóteses é através de árvores de consenso. Existem diferentes tipos de operações para calcular árvores de consenso. Por exemplo, árvores igualmente parcimoniosa são geralmente sintetizadas em um consenso estrito, topologia que retém apenas os clados presentes em todas as árvores mais parcimoniosas. Árvores pouco menos parcimoniosas, no entanto, podem indicar relações muito diferentes. A fragilidade amparente dos resultados enfatizou a importância de estimativas para a sustentação dos clados. Atualmente, os índices de suporte mais utilizados são o bootstrap (Felsenstein 1985), que estima a confiança dos clados através de reamostragens dos próprios dados, e o indíce de decaimento ou índice de Bremer (Bremer 1988, 1994), que indica o número de passos a mais necessário para colapsar o clado, i.e. torná-lo uma politomia.

Estudos filogenéticos baseados em dados moleculares aumentaram progressivamente no final dos anos 1980. Entre 1989 e 1991, eles já representavam mais da metade dos trabalhos filogenéticos (Donoghue 1994), e atualmente dominam a sistemática vegetal. As ferramentas disponíveis para análises moleculares oferecem a esse tipo de dado a versatilidade prática necessária para superar dificuldades frequentemente encontradas em estudos filogenéticos. Dentre elas, a falta de resolução ou de suporte para os clados, seja pelo excesso ou pela falta de variação. Nesses casos, a adição de caracteres, a análise de regiões com taxas de substituição diferentes ou análises mais sensíveis ao sinal filogenético podem representar soluções eficazes.

A parcimônia pode mostrar-se inconsistente em árvores com comprimentos de ramos desproporcionais. Nesses casos, a probabilidade de mudanças simultâneas, independentes em dois ramos longos de uma árvore pode ser maior do que a de uma única mudança em um segmento pequeno, levando à atração de ramos longos. Ou seja, a parcimônia não se adequa

a casos em que a probabilidade de paralelismos em ramos longos é maior que um único evento em um ramo curto (Felsenstein 1978).

Encontrar a árvore correta pode depender da incorporação de modelos são elaborados a partir de padrões de substituição observados na natureza. Por exemplo, a estrutura molecular do DNA torna a probabilidade de transições (substituições de purinas por purinas ou de pirimidinas por pirimidinas) maior do que a de transversões (purinas por pirimidinas, ou o inverso). Regiões codificantes, supostamente sob restrições seletivas, possuem geralmente taxas de substituição menores do que as não codificantes e que, portanto, não influenciam o fenótipo. O mesmo princípio explica porque mutações na terceira base do códon de uma região codificante, geralmente mutações sinônimas por não alterarem o aminoácido codificado, são mais freqüentes do que mutações na primeira e na segunda posição do códon.

O critério de máxima verossimilhança foi introduzido (Cavalli-Sforza & Edwards 1966) na sistemática como meio de incorporar modelos evolutivos na seleção de árvores moleculares ótimas. Esse critério avalia a probabilidade dos dados observados a partir de um modelo evolutivo e a variação de seus parâmetros. A hipótese filogenética escolhida é aquela que maximiza a probabilidade dos dados. Esse método, no entanto, exige o cálculo da probabilidade de todas as árvores possíveis, tornando sua aplicação computacionalmente inviável mesmo para um número reduzido de terminais.

Até o início de 2.000, análises filogenéticas incluindo modelos evolutivos ficaram limitadas a algoritmos mais grosseiros. Nos últimos anos, no entanto, análises mais sofisticadas passaram a utilizar a inferência bayesiana. Através das Cadeias de Markov Monte Carlo, esses métodos chegam a uma aproximação da árvore mais provável para os dados observados conforme o modelo evolutivo estipulado para a análise, oferecendo também o cálculo da incerteza do resultado na forma da probabilidade posterior dos clados. A difusão da sistemática filogenética associada à robustez de métodos de inferência filogenética levou a prioridade da filogenia sobre a classificação. Progressos laboratoriais e computacionais permitiram que dados moleculares fossem amplamente utilizados na reconstrução de filogenias, e seus resultados incorporados na taxonomia dos grupos. A morfologia passou, então, a ser interpretada diante de uma filogenia previamente estabelecida a partir de dados moleculares, guiando o sistemata na seleção de grupos monofiléticos merecedores de reconhecimento taxonômico.

MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO

Tradicionalmente, a classificação de um organismo recém-descoberto e sua relação filogenética com outros organismos tem sido estimada com base em suas semelhanças gerais externas, relativamente a outros representantes daquele táxon. As árvores filogenéticas construídas pelos métodos

tradicionais raramente incluem considerações detalhadas de informação comparada. Em vez disso, elas refletem a variação relativamente intuitiva e a ponderação de um grande número de fatores. As árvores resultantes freqüentemente contêm informações sobre a seqüência na qual as ramificações ocorreram e a extensão das alterações biológicas subseqüentes. Embora essa abordagem tenha produzido muitos resultados úteis, ela é baseada em grande parte na opinião do investigador sobre a importância relativa de vários fatores que são considerados no estabelecimento da classificação. Portanto, não é surpreendente que muitas classificações distintas foram algumas vezes propostas para os mesmos grupos de organismos.

COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

DIVISÃO MAGNOLIOPHYTA/ CLASSE MAGNOLIOPSIDA

O sistema de classificação de Takhtajan (1980) é extremamente semelhante ao de Cronquist (1988). A principal divergência, no que diz respeito às Magnoliopsida, referem-se à segregação da subclasse Ranunculidae, com duas ordens de pólen triaperturado que Cronquist mantém em Magnoliidae, pela ocorrência de flores apocárpicas com elementos espiralados em uma delas (Ranunculaceae) e alcalóides benzil-isoquinolínicos na outra (Papaveraceae).

O sistema de Thorne (1992) e Dahlgren (1989) diferem significativamente dos dois precedentes. Estes autores preferem reconhecer superordens, mais numerosas no total, mas contendo cada uma conjuntos de ordens mais claramente afins. Assim, temos 19 superordens de Dicotiledôneas no sistema de Thorne e 24 no de Dahlgren, denominadas com o sufixo anae (por exemplo, Magnolianae, Rosanae, Myrtanae, etc.). Outra diferença fundamental é que aqui nenhum grupo atual é colocado como sendo ancestral direto de outro, como fazem Takhtajan e Cronquist. Thorne coloca no centro do esquema uma "protoangisoperma ancestral". O esquema de Dahlgren apresenta uma árvore cortada onde as superordens atuais são mostradas em vista frontal, como ramos "linhagens" divergentes. O tronco comum da árvore indica o monofiletismo das Angiospermas e a proximidade relativa dos ramos atuais, seu grau de parentesco. O tamanho dos balões do Dhlgrenograma tenta ser proporcional a dimensão de cada grupo incluído. Trata-se de uma conformação adequada para se plotar a distribuição de caracteres diversos nas várias ordens ou superordens.

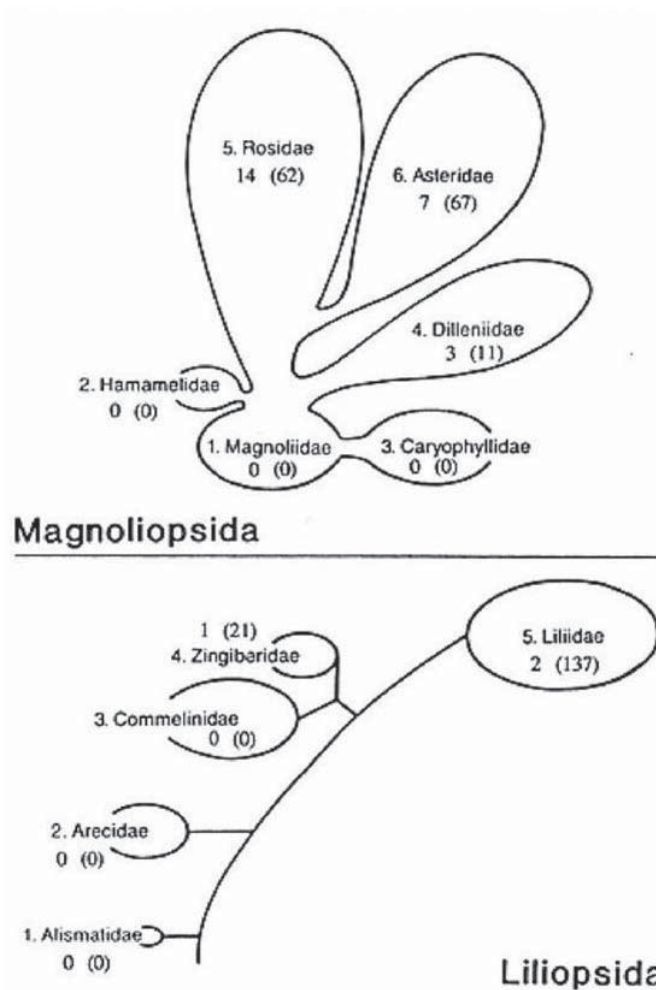



Figura 11 – Sistema de Cronquist (1968, 1981, 1988): Esquema das supostas relações evolutivas entre as subclasses de angiospermas. O tamanho do balão é proporcional ao número de espécies de cada grupo.

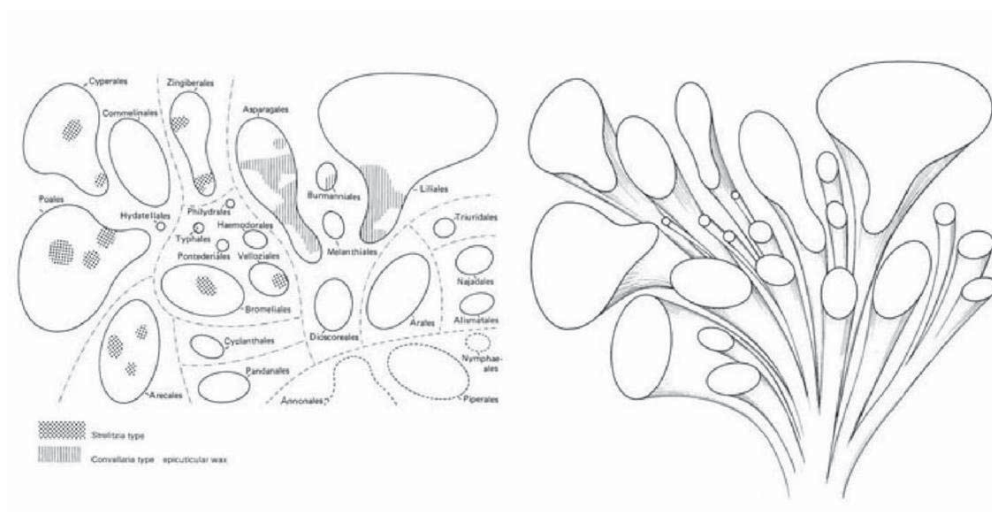



Figura 12 – Dahlgrenograma: o tamanho dos balões do tenta ser proporcional a dimensão de cada grupo incluído.

SITUAÇÃO ATUAL DA CLASSIFICAÇÃO DAS ANGIOSPERMAS À LUZ DA SISTEMÁTICA MOLECULAR

A sistemática vegetal foi revolucionada na última década pela aplicação de técnicas moleculares. Análises de variação no genoma de cloroplastos em particular, e, em menor extensão, de segmentos do genoma nuclear incrementaram grandemente nosso entendimento da filogenia das plantas em todos os níveis taxonômicos. Assim, a sistemática emerge como um ramo vigoroso da biologia evolutiva, provendo a necessária perspectiva histórica para a Biologia Comparada e embasamento filogenético para o desenvolvimento de hipóteses sobre processos evolutivos.

Dados moleculares em geral provêem muitas vantagens em relação às fontes tradicionais de evidências taxonômicas. Um dos objetivos centrais da sistemática tem sido inferir relações genéticas entre grupos de organismos. Uma vez que os dados moleculares (sítios de restrição e sequenciamento de bases nucleotídicas do DNA) provêem o genótipo do organismo, eles fornecem uma evidência mais precisa das relações de parentesco do que podem fazer os caracteres fenotípicos, que podem ser modificados pelo ambiente. Além disso, a homologia de caracteres moleculares é tipicamente mais facilmente alcançada. Atualmente, sequencia de rbcL do genoma de cloroplastos podem ser anlisados para a reconstrução das relações filogenéticas entre famílias, ordens e níveis hierárquicos superiores, enquanto sequências nucleares de genes de RNA ribossômicos fornecem informações mais adequadas em nível de gênero e espécie. (rbcL é uma grande subunidade do DNA circular do cloroplasto, responsável pela codificação da enzima ribulose-bifosfato-carboxilase, importantíssimos nas relações de fixação do carbono durante a fotossíntese). Os dados obtidos com o sequenciamento de nucleotídeos têm sido analisados através dos rigorosos métodos cladísticos.

Uma árvore de consenso estrito de 3900 árvores igualmente parcimoniosas, obtidas com os dados de rbcL de 499 espécies de plantas com sementes (espermatófitas), foi publicada pelo esforço conjunto de mais de 38 pesquisadores (Chase et al. 1993). Podemos visualizar uma árvore com linha monofilética cicadeana como grupo irmão de todas as espermatófitas restantes. Embora morfologicamente dessemelhantes, os três gêneros de Gnetales formam uma linhagem monofilética que é irmã das Angiospermas, sustentando portanto, algumas hipóteses baseadas em rRNA e em dados morfológicos.

Dentre as Angiospermas, duas linhagens principais na árvore de rbcL correspondem, não aos tradicionais grupos de mono e dicotiledôneas, mas aos grupos produtores de pólen uniaperturado versus produtores de pólen triaperturados. Assim, a subclasse Magnoliidae sensu Cronquist (1988) é

parafilética; contudo as ordens Magnoliales e Laurales, as "Paleoervas" (i.e. Aristolochiales, Piperales e Nymphaeales) e as monocotiledôneas formam em conjunto uma linhagem monofilética marcada pelo pólen uniaperturado, que é irmã de todas as Dicotiledôneas produtoras de pólen triaperturado, agora denominadas "Eudicotiledôneas". Dentre estas, as Caryophyllales são monofiléticas, enquanto as Dilleniidae e Hamamelidae de Cronquist aparecem polifiléticas, pois contém famílias de linhagens distintas de rbcL: As Urticales, por exemplo, incluídas por aquele autor na subclasse Hamamelidae, está no clado Rosidae sensu lato.

Na árvore de rbcL, tanto o clado de Asteridae sensu lato como Rosidae s.l. contém diversos elementos não tradicionalmente atribuídos a elas, essas subclasses como definidas por Cronquist mostram-se parafiléticas necessitando-se circunscrições expandidas para que se tornem mais estritamente monofiléticas.

Finalmente, deve-se ressaltar que os dados de rbcL revelaram certos padrões de evolução de caracteres morfo-anatômicos e químicos muito importantes. Nos sistemas de classificação tradicionais, certos caracteres embriológicos, como o tipo de nucelo, e a gamopetalia aparecem como homoplásticos: admite-se que teriam aparecido repetidas vezes em muitas linhagens evolutivas diferentes. Entretanto, a árvore de DNA indica que dois grandes clados-irmãos estão presentes dentre as Eudicotiledôneas: um com óvulos tenuenucelados (i.e., com apenas uma camada de células nucelares envolvendo o saco embrionário abaixo da micrópila) e corola gamopétala, outros com óvulos crassinucelados (mais de uma camada de células nucelares) e corola dialipétala. A tais grupos correspondem grosseiramente as Asteridae e Rosidae, respectivamente, embora a sua constituição seja consideravelmente diferente da circunscrição tradicional. Portanto, a gamopetalia pode representar sinapomorfia das Asteridae sensu lato e o posicionamento em Dilleniidae de certas ordens gamopétalas como Ericales (que inclui a família da Azaléia, Ericaceae) é insustentável.

Com relação aos iridoides, também seriam homoplásticos nas classificações tradicionais, uma vez que ocorrem em ordens colocadas em Dilleniidae (por exemplo Ericales) e noutras colocadas em Asteridae, porém os dados de rbcL demosntram que os iridoides representam uma sinapomorfia do clado Asteridae sensu lato, permitindo a hipótese de que seria a condição basal neste clado, com perdas subsequentes ocorrendo em várias linhagens com Apiales, Asterales e Solanales, que passaram a produzir defesas químicas alternativas. Mais uma vez aqui, a presença de poliacetilenos e lactonas sesquiterpênicas em Apiales (com a família da erva-doce, aniz, salsa, coentro) e nas Asterales teria que ser reportada como homoplástica na classificação de Cronquist, pois as primeiras estão em Rosidae para este autor. Porém os dados de DNA sugerem que Asteridae s.l. também inclui as Apiales e então aqueles caracteres químicos são uma sinapomorfia, enquanto que a

dialipetalia de certas Apiales representaria reversão a partir de uma condição de gamopetalia basal das Asteridae.

Assim, a sistemática molecular tem corroborado o monofiletismo de várias famílias e ordens por um lado, e apontado pontos críticos ou problemáticos que requerem ampla reformulação dos sistemas de classificação vigentes.

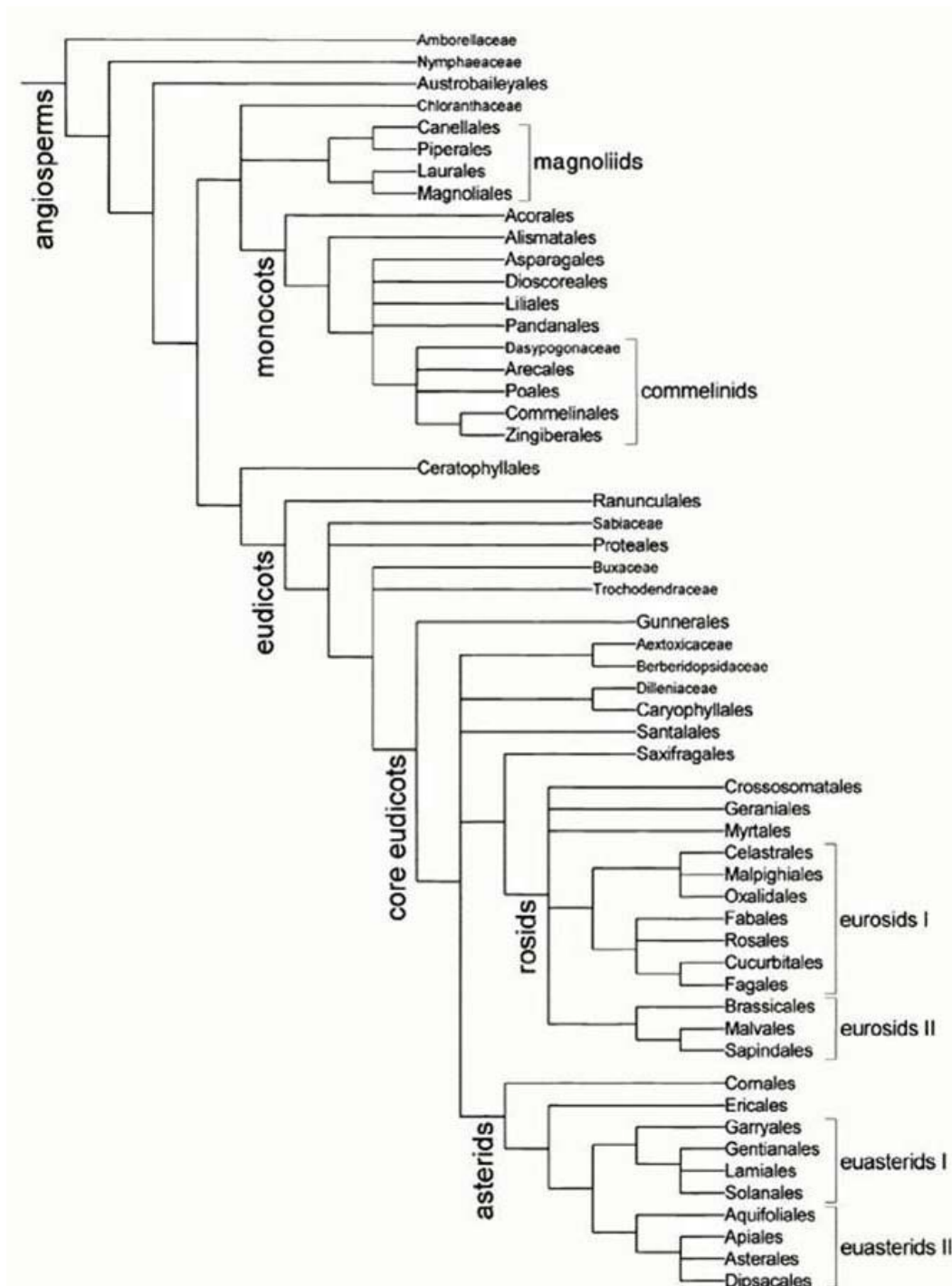



Figura 13 – Árvore filogenética (cladograma) mostrando as relações entre os taxa de Angiospermas. Análise foi baseada em dados moleculares (sequências de regiões do DNA). Sistema de classificação do APG II.

CONCLUSÃO

Os sistemas de classificação ao longo da história da humanidade foram propostos de acordo com as necessidades da época em facilitar a aquisição do conhecimento sobre as plantas com base na simplicidade/complexidade e tecnologia existente. Dentre os vários sistemas citados, os primeiros em ordem cronológica foram os menos elaborados e um pouco equivocados se formos comparar com os atuais sistemas vigentes. Houve um grande avanço em relação aos critérios envolvidos e o resultado final esperado em um sistema de classificação. Hoje em dia o sistema de classificação utilizado por pesquisadores e estudiosos em Botânica em boas partes das universidades brasileiras é o Sistema de APG (Agiosperm Phylogeny Group), um sistema que revolucionou a classificação botânica ao propor a divisão das Angiospermas em grupos diferentes dos tradicionais sugeridos em outros sistemas de classificação. De acordo com este sistema as Angiospermas estão divididas em quatro grandes grupos: Angiospermas basais, Magnoliídeas, Monocotiledôneas e Eudicotiledôneas. O APG publicou seus trabalhos a partir de 1993, tendo divulgado a classificação mais recente em 2009 (APG III). A tendência hoje em dia com as análises filogenéticas é tentar resolver alguns clados sem grande sustentabilidade em níveis hierárquicos mais inferiores uma vez que em níveis hierárquicos superiores o posicionamento da maioria dos grupos já está sendo considerado estável.

RESUMO

Apesar da enorme diversidade vegetal nativa do Brasil, encontramos ainda uma literatura muito parca em sistemática vegetal. A Sistemática é a área do conhecimento biológico que se ocupa do estudo das relações evolutivas dos diferentes grupos de seres vivos ao longo do tempo e do agrupamento e classificação dos seres vivos. Um sistema de classificação pode ser construído com diferentes objetivos. Cada um deles terá um princípio filosófico e normativo distinto, e irá empregar distintos conjuntos de caracteres. Ao longo da história, surgiram numerosos sistemas de classificação, os quais costumam ser agrupados em quatro categorias: hábito, artificiais, naturais e filogenéticos. Os primeiros foram, evidentemente, os menos elaborados, embora seus autores acreditassem que eles refletiam afinidades naturais. Nestes sistemas, árvores, ervas, trepadeiras etc., consistiam os grupos principais de plantas. Teophrastus (370-285 a.C.) é o nome mais célebre deste período, sendo considerado o Pai da Botânica. Os sistemas artificiais (séc. XVIII) eram essencialmente práticos, com poucos caracteres e não levavam em conta as afinidades entre os organismos. Ex.: sistema sexual de Lineu (1707-1778). Classe 21: Monoecia: Typha (taboa-monocot.), Quercus (carvalhos, eudicot.) e Thuja (tuia- gimnosperma). Os sistemas naturais (séc. XVIII e XIX): buscavam afinidades "naturais" entre os grupos, segundo um plano divino. Utilizam um número maior de caracteres. Lamarck, Bentham & Hooker, De Candolle, Jussieu. Dura até o advento do "Darwinismo". Os sistemas filogenéticos (séc. XIX até hoje): baseados na FILOGENIA dos grupos: histórico de relações de táxons (famílias, gêneros, espécies, populações, etc.) através de ancestralidade e descendência (seguindo Darwin).

ATIVIDADES

1. Defina Sistemática e Taxonomia.
2. Faça uma síntese dos principais sistemas de classificação desde a antiguidade até os dias atuais.
3. Defina Fenética e Cladística e por fim faça comentários sobre a utilização desses métodos nas classificações botânicas.
4. De acordo com os princípios de Andreas Caesalpino (1583) as classificações deveriam ser (ou ter):

a) Fáceis de utilizar
b) Estáveis
c) Fáceis de memorizar
d) Concisas
e) Ter poder de predição

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Analise estes tópicos sugeridos por Caesalpino, faça uma avaliação do sistema de classificação vigente e informe sobre a necessidade/aplicabilidade destes princípios nos dias atuais.

PRÓXIMA AULA

Na próxima aula iremos estudar as monocotiledôneas, um grupo caracterizado basicamente pela presença de representantes com um cotilédone e grãos de pólen geralmente monossulcados.

REFERÊNCIA

APG II. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. Botanical Journal of the Linnean Society, Londres, n. 141, p. 399-436, 2003.

CHASE, M.W. Soltis de et al. 1993. Phylogenetics of seed plants: an analysis of nucleotide sequences from the plastid gene rbcL. **Annals of the Missouri Botanical Garden** 80: 528–580.

CRONQUIST, A. 1988. **The evolution and classification of flowering plants.** 2.ed. New York Botanical Garden.

DAHLGREN, G. 1989. **The last Dahlgrenogram System of classification os the dicotiledons**. In Plant taxonomy, phytogeography, and related subjects, K.Tan (ed.), 249-250. Edinburgh University Press, London.

TAKHTAJAN, AL. 1997. **Diversity and classification of flowering plants.** New York: Columbia University Press.

The Angiosperm Phylogeny Group (APG). 2003. An Update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the Orders and Families of Flowering Plants: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society** 141:399-436.

THORNE, R.F. 1992. Classification and geography of the flowering plants. **Botanical Review** 58: 225–348.